

津波越流時における構造物への流体力に関する実験的研究

熊本大学 学生会員 ○福島有加里, 戎健次 正会員 外村隆臣, 中條壮大, 山田文彦
神戸市立工業高等専門学校 正会員 辻本剛三, 柿木哲哉

1. 目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波は甚大な被害を生み出した。岩手県宮古市での津波氾濫状況を写真1に示す。写真から、沖側の水位を高い状態に保ったまま津波が堤防を越流していることがわかる。動画映像からも、このような越流が30分以上にわたり継続したことが、建物を押し流し、被害を増大させたと考えられる。このような氾濫形態は、既往の津波研究で対象としてきた孤立波やN-Wave等によるものとは大きく異なっている¹⁾。したがって実現象スケールに合った、津波の越流現象を室内実験により再現することを試みる必要がある。

また、写真2に示すのは2011年3月12日に撮影された仙台東部道路の航空写真である。仙台平野では海岸から4km付近まで津波が押し寄せたが、周辺より高い盛土構造(7m~10m)を有する仙台東部道路に約230人の住民が避難した。さらに、この道路盛土により内陸市街地への瓦礫の流入を抑制する浸水拡大防止の役割を果たし、東日本大震災における副次的な防災機能を発揮した事例として注目されている。これを受け、国土交通省により港湾の産業物流復興プランとして、現行の防護ラインに加えて道路盛土による二線堤等を設け、できる限り連続した防護ラインを形成する面的防護を推奨する方針が出された。しかしながら、二線堤の設置位置や形状についての実験データが少ないのが現状である。よって、本研究では越流の時間スケールを考慮した室内実験を行い、二線堤模型の位置・形状による背後の構造物に作用する流体力などについて検討する。



写真1 岩手県宮古市での氾濫状況

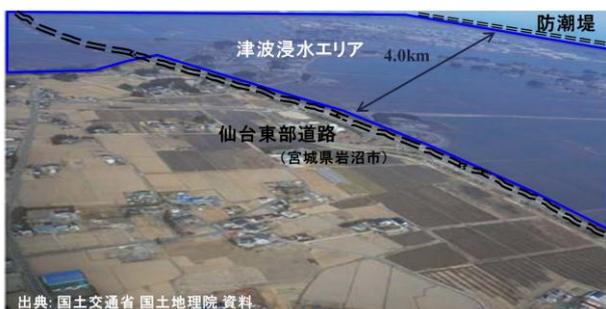


写真2 仙台東部道路付近の浸水状況

2. 実験概要

実験は神戸高専所有の循環式開水路を用いた。側面図を図1に示す。水路幅0.2m、長さ12.4m、高さ0.4mであり、堤防模型、構造物模型、盛土模型を開水路内に設置し、圧力計、電磁流速計、容量式波高計により100Hzで計測を行った。実験のスケールは自由表面を有する流れのため、フルード相似則を用いる。今回の実験では水平方向と鉛直方向の縮尺を変えた歪み模型を用いた。模型の諸元を表1に示す。既往の津波研究で用いられてきた孤立波の周期が20秒程度²⁾であるのに対し、本実験での越流継続時間は4分である。また実験ケースについては表2に示す。なお、盛土模型の設置距離Lは堤防前面から盛土法尻までの距離を示し、堤防模型の背面高H(10cm)の20, 45, 60倍とした。

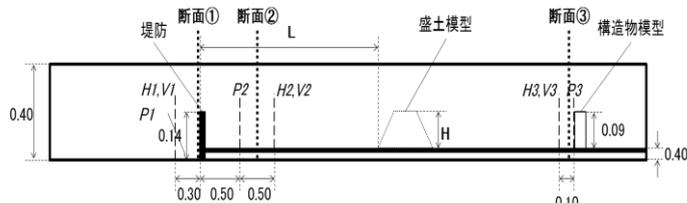


図1 開水路側面図(単位 m)

表1 模型縮尺

項目	縮尺
水平方向の長さの縮尺	1 / 167
鉛直方向の長さの縮尺	1 / 54
時間の縮尺	1 / 23
速度の縮尺	1 / 7

表2 実験ケース

ケース名	盛土設置距離	越流継続時間	盛土高/天端長/底面長
Case 1-1	45H	4分	盛土なし
Case 1-2			5.0cm / 6.8cm / 24.8cm
Case 1-3			7.5cm / 10.1cm / 37.1cm
Case 1-4			10.0cm / 13.5cm / 49.5cm
Case 1-5			20.0cm / 27.0cm / 99.0cm

3. 実験結果

図2~4に構造物模型前面である断面3(防模型前面から9m地点)におけるCase 1-1~1-5の水位、流速および圧力の実験値の時間変化を示す。堤防模型背面の地盤高(4cm)に各計測機器の設置高さ(1cm)を加えた5cmを基準高とし、堤防模型前面の水位が5cmになった時点をもととして $t=0$ sとしている。また流速・圧力に関しては、流速計および圧力計が空

中にある時点から計測したため、水中に没するときにノイズが発生している。

図2より、盛土高が前面堤防高以下となる Case 1-1~1-4 では、構造物模型前面の断面3での水位は170 s以降同程度となるが、盛土高が前面堤防高の2倍となる Case 1-5 では他のケースに比べ水位は約0.01 m 低減している。次に、図3の流速に関しては、越流水が構造物模型の前面に到達した後はすべてのケースにおいて同程度の値となった。

構造物模型に作用する圧力は、図4に示すように盛土を設置した Case 1-2~1-5 では圧力の時間変化に盛土高による差は見られるが、210 s以降はほぼ同程度の圧力が作用している。しかし、盛土を設置していない Case 1-1 に比べ全体的に圧力が低減できており、最終的には100 Pa 程度低減した。このように越流水が構造物模型に到達した後は、水位・流速に関しては盛土の有無による差は顕著には確認されないが、構造物に作用する圧力は盛土高による差は大きいものの、盛土の有無による差は確認できる。この理由として、有光らは越流後の水塊により構造物に作用する圧力は静水圧(ρgh)と運動量(ρu^2)の和として与えられるので、速度の差に起因するものと考えられる³⁾。なお、盛土高による津波越流水の他の抑止効果としては、越流水が前面堤防を越え、さらに盛土も越流して構造物模型に到達するまでの時間を延ばすことであり、たとえば盛土のない Case 1-1 と Case 1-5 を比較すると約80 sの差が生じていることが確認できる。また、図5にフルード数の時系列を示す。越流水先端部ではフルード数は大きいですが、構造物模型の前面に到達後は流速と同様にすべてのケースにおいて $Fr=0.4$ 程度となった。

次に、盛土設置位置による構造物に作用する圧力の時間積分値の変化を調べた。通常、構造物に作用する流体力はその前後での比力の差として求められるが、圧力の時間積分値は、越流水が構造物に作用する全時間における流体の単位面積当たりの運動量を示す1つの指標として算出した。紙面の都合で図面は示していないが、堤防を越えた越流水が堤防と盛土間に貯水される体積は盛土の設置位置を堤防背面から20 H, 45 H, 60 H と離すほど大きくなるが、圧力の時間積分値は逆に小さくなる。実験結果では盛土設置距離が45 H の場合、盛土高を上げることで、貯水体積の増加に伴い圧力の時間積分値は約4割減少する。

参考文献

- 1) Madsen, P. A. *et al.*: J. of Geophy Res., .113, C12012, 2008.
- 2) Rossetto, T. *et al.*: Coastal Eng., 58, 517-527, 2011.
- 3) 有光ら, 土木学会論文集 B2, vol.68, No.2, 2012, I776-I780

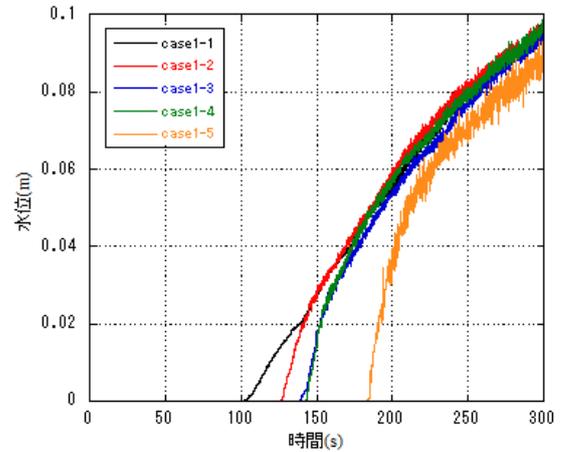


図2 各ケースでの断面3の水位の時間変化

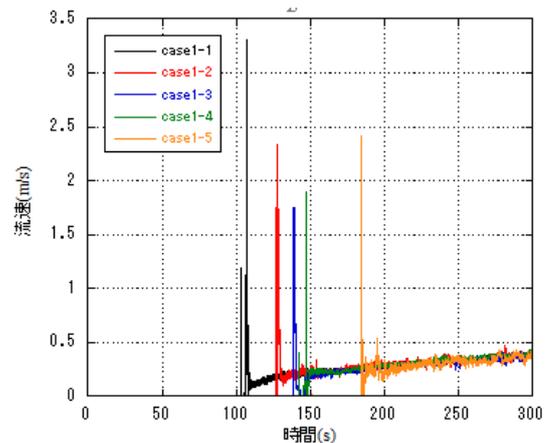


図3 各ケースでの断面3の流速の時間変化

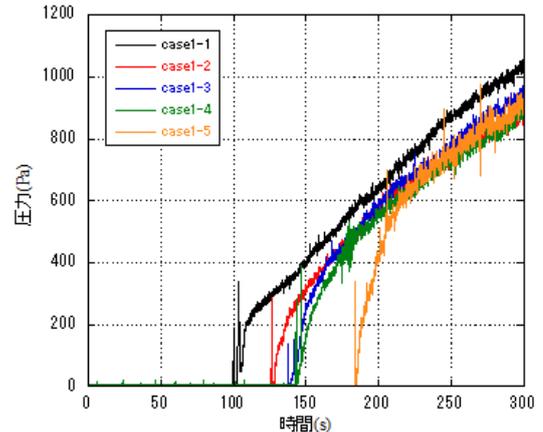


図4 各ケースでの断面3の圧力の時間変化

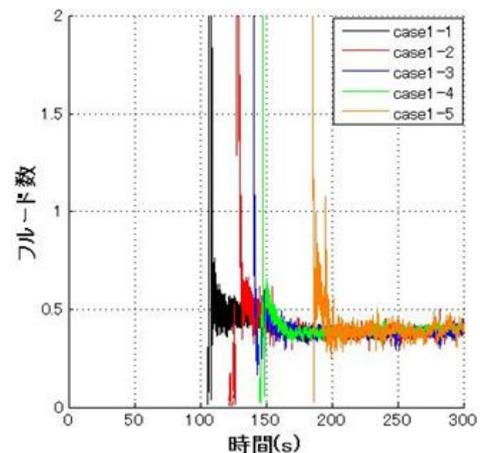


図5 各ケースでの断面3のフルード数の時間変化